

LA ESTRUCTURA DE LA CASA SOBRE EL ARROYO

Rey Rey, J. (1)*, Merro Johnston, D. (2)**

(1) *E.T.S. de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid. España.*

(2) *Escuela de Arquitectura. Universidad de Alcalá de Henares. España.*

La *casa sobre el arroyo*, en Mar del Plata, Argentina, uno de los proyectos más importantes del arquitecto Amancio Williams, ha sido reconocida como una de las viviendas paradigmáticas de la modernidad y del siglo XX.

Sus valores arquitectónicos, de investigación y evolución tecnológica, el proceso de construcción y su implantación en el paisaje han sido destacados por la crítica internacional.

El acceso por primera vez a la documentación completa de esta obra en el Archivo Williams en Buenos Aires ha revelado interesantes datos en relación a su proyecto y construcción, entre los que se destaca el hecho hasta ahora desconocido de un importante conflicto técnico que requirió la demolición y reconstrucción de gran parte de la estructura debido a desviaciones geométricas detectadas durante la ejecución de la arco de hormigón armado.

El artículo analiza el diseño estructural de *la casa sobre el arroyo*, interpreta la repercusión de los defectos que llevaron a su demolición y valora si la aspiración de Amancio Williams de realizar un análisis tridimensional de la estructura hubiera conseguido resultados significativos.

Palabras Clave: análisis, estructura, hormigón, arco, Williams.

THE STRUCTURE OF THE HOUSE OVER THE BROOK

The house over the brook, in Mar del Plata, Argentina, is one of Amancio Williams' most important projects and has been recognized as a paradigm of modern and twentieth century architecture.

International critics have highlighted the architectural values, research and technological development behind it, its construction process and its integration in the landscape.

Access to the complete documentation on this project held at the Williams Archive in Buenos Aires for the first time has revealed interesting information about the design and construction of the building. Particularly relevant is the fact hitherto unknown that an important technical conflict led to the demolition and rebuilding of a large part of the structure due to geometrical deviations detected during the construction of the concrete vault.

The paper analyzes *the house over the brook's* structural design, interprets the impact of the errors that led to its partial demolition and assesses whether Amancio Williams' desire to develop a three-dimensional analysis of the structure would had achieved significant results.

Key words: analysis, structure, concrete, vault, Williams

* juan.rey@upm.es

** d.merro@uah.es

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

A comienzos de los años 1940 surge la figura de Amancio Williams como uno de los arquitectos argentinos de mayor trascendencia internacional, por sus múltiples elaboraciones conceptuales reflejadas en singulares y rigurosos proyectos que se convierten con el tiempo en verdaderos modelos de arquitectura moderna, a pesar de que pocos llegaron a construirse.

Nacido en Buenos Aires el 19 de febrero de 1913, hijo del reconocido músico Alberto Williams, se educa en un entorno familiar con un ambiente cultural de vanguardia que contribuye a la formación temprana de sus ideas, comprometidas con su tiempo.

Sus interesantes proyectos simbolizan un apasionado compromiso en la relación entre el rigor y la estética de la modernidad y su disposición a soportar la renuncia a la realización si no logra conseguir el pleno ajuste a dicho rigor: *"No tiene demasiada importancia que yo no vea concretados mis proyectos. Lo único que cuenta es que mis estudios me sobrevivirán y podrán ser realizados por otros"*. (1)

Incorpora al discurso de la Modernidad nuevos matices, como *"trabajar con toda libertad en el espacio, manejarse libremente en tres dimensiones, buscar en la técnica su expresión verdadera, trabajar con sentido de unidad y síntesis"*. (2)

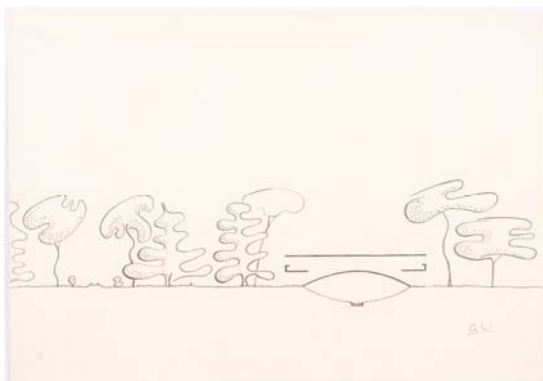
Una suerte de buscador de tesoros que anhela encontrar nuevas tipologías modernas e inventar arquetipos, insistiendo casi hasta la obsesión en una serie de paradigmas espaciales: el arco cáscara y los techos altos, la sección como esencia y la experimentación con nuevas posibilidades expresivas en el uso del hormigón armado.

LA CASA SOBRE EL ARROYO EN MAR DEL PLATA

En el año 1943, en un solar de gran belleza natural, dominado por un bosque arbolado y cruzado por un arroyo, Amancio Williams proyectó y construyó la vivienda para su padre, en la que aplicó y consiguió demostrar su interpretación de la modernidad: formas en el espacio, mínimo contacto con el suelo, rigurosa síntesis en el diseño de la estructura y uso integral del hormigón armado.

En un intento de superarse a sí mismo en el estudio de la técnica imaginó nuevas formas de posar sus obras sobre el terreno, de obtener el suelo libre por otros caminos, más integrales o complejos que los habituales en la arquitectura moderna, recuperándolo para otros usos, sin dañarlo.

El pequeño esquema mostrado en la figura 1, que ha trascendido en el tiempo, formado por un par de líneas, una recta y una curva, consigue sintetizar con claridad la estrategia fundamental del proyecto.



Figuras 1 y 2. Croquis inicial del Proyecto "Casa sobre el arroyo" (Archivo Williams, 1943) y fotografía exterior de la casa sobre el arroyo (Archivo Williams).

Amancio Williams proyectó una vivienda de desarrollo horizontal, con planta rectangular y proporciones 1:3 como si fuese una masa abstracta que descansa sobre un arco apoyado en el terreno: un prisma que flota en el espacio (ver figura 2).

Sus valores, no solamente como proyecto arquitectónico sino también como investigación y evolución tecnológica, su proceso de desarrollo y construcción, su implantación en el paisaje y la calidad del diseño de su equipamiento interior, han sido reconocidos por la crítica internacional como una de las viviendas paradigmáticas de la modernidad y del siglo XX.

Abandonada por sus dueños durante más de veinte años, y en un estado próximo a la ruina fue adquirida recientemente por la Municipalidad de la ciudad.

El estudio de la documentación de la obra en el Archivo Williams de Buenos Aires, un conjunto de 637 planos, detalles y borradores cuidadosamente inventariados han permitido revelar las serias dificultades que se presentaron durante su construcción.

Precisamente, el diseño de la estructura, cuya imagen ha trascendido como emblema de la obra, constituye una cuestión esencial en este proyecto.

LA ESTRUCTURA

ANTECEDENTES Y CONCEPTO ESTRUCTURAL

La vivienda, concebida en su totalidad en hormigón armado, se caracteriza por su forma de puente en arco que atraviesa un arroyo; y es precisamente esta configuración espacial de la estructura la que presenta una mayor singularidad desde el punto de vista resistente dentro del ámbito de las estructuras de edificación. El arco (3), de 18,30 metros de luz y 2,44 metros de flecha, está conectado a la losa del nivel principal a través de finas costillas de hormigón armado.

El cálculo de la estructura de la vivienda fue llevado a cabo por el ingeniero Carlos Treglia, basándose en los Teoremas de Castigliano y el Principio de Menabrea-Castigliano para el análisis del arco, y en el Método de los puntos fijos para el análisis de las losas y vigas. La principal referencia citada por el autor en su Memoria de cálculo es el manual de R. Salinger: "Hormigón Armado" (Ed. Labor, 1944, pag. 597). Todos los cálculos fueron desarrollados a mano. (4)

La sección nos muestra una tipología de arco, articulado en sus apoyos y con una directriz perfectamente parabólica. Este trazado, que en alguna oportunidad ha sido referido como la geometría inversa de la cuenca del arroyo, responde en su directriz al antifunicular de unas cargas teóricas uniformemente distribuidas. Ahora bien, tal y como se indica en la Memoria de Estructuras, en este caso las acciones principales que recibe el arco son cargas puntuales que provienen de la losa superior a través de las costillas de hormigón intermedias: *"las cargas de la zona central del edificio se transmiten al arco directamente por medio de costillas de rigidez interrumpidas en una cierta extensión para dar paso a las escaleras de acceso a la planta principal. Las barandas laterales V40 soportan además de su peso propio las barandas frontales V39 que a su vez descargan parte del techo y de la losa 3. El apoyo de las V40 lo constituyen los voladizos de la losa 4 apoyados sobre dos tabiques transversales que a su vez descargan sobre los anteriormente mencionados transmitiéndose a la fundación"* (5). Es por ello esperable que la línea de empujes pueda presentar desviaciones significativas respecto a la directriz parabólica.

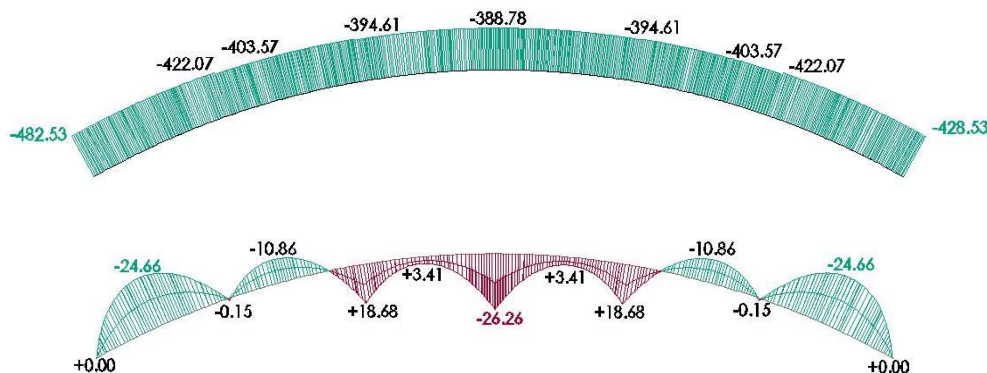
Para evaluar los esfuerzos y deformaciones en el arco, se ha desarrollado un análisis elástico simplificado (considerando únicamente una sección de un metro de ancho del arco) mediante el método matricial, empleando para ello el programa informático Autodesk Robot Structural Analysis v2012. Las cargas consideradas en el análisis desarrollado han sido las siguientes:

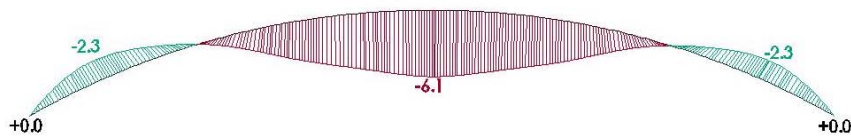
Peso propio (PP): además del peso propio del arco de 22 cm de espesor se consideran cargas puntuales de 42 kN en cada costilla correspondientes de forma aproximada al peso propio del resto de la estructura de hormigón.

Cargas permanentes (CP): 1 kN/m² en cada una de las plantas (representan cargas puntuales de 6,20 kN).

Sobrecargas de uso (SC): 1 kN/m² en la planta habitable y 0,5 kN/m² en la planta cubierta (lo que equivale aproximadamente a cargas puntuales de 4,7 kN).

Los resultados obtenidos se presentan de forma resumida en las figura 3, 4 y 5:





Figuras 3, 4 y 5. Diagramas de esfuerzos y deformada para la combinación de acciones PP+CP+SC: esfuerzos axiales (kN/m), momentos flectores (kNm/m) y desplazamientos (mm) (Rey, 2013).

Esto se puede expresar también de forma gráfica a través del polígono funicular de las cargas puntuales debidas al peso de la superestructura así como de las correspondientes al peso propio del arco de hormigón de 22 cm de espesor. En base a dicho polígono funicular se ha dibujado la línea de empujes, considerando un metro de ancho del arco.

En la figura 6 se presentan los resultados obtenidos. La desviación máxima de la línea de empujes (línea verde) en relación a la teórica directriz del arco es de aproximadamente 7 cm en la clave, lo que correspondería a un momento flector de aproximadamente $388 \text{ kN} \cdot 0,07 \text{ m} = 27,16 \text{ kNm}$, valor que coincide sensiblemente con el obtenido anteriormente.

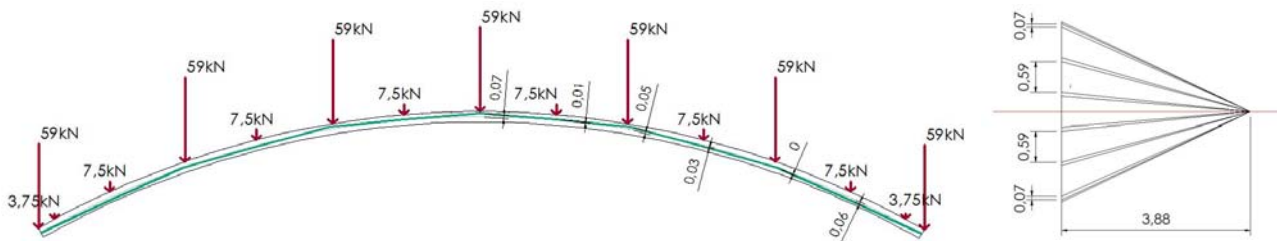


Figura 6. Línea de empujes para carga total (PP+CP+SC) y polígono funicular (Rey, 2013).

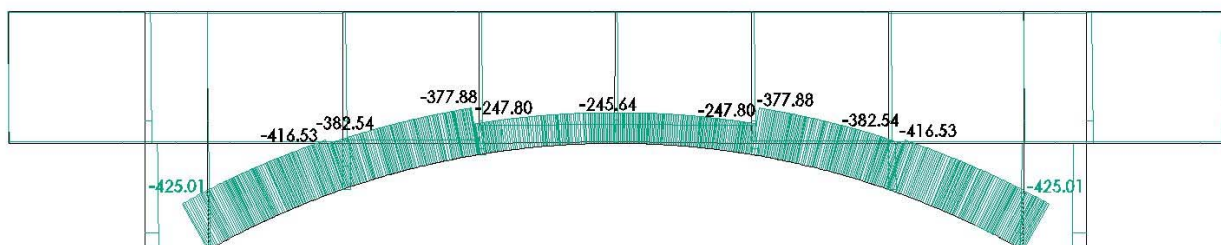
Estas desviaciones producen por tanto momentos flectores que deberán ser resistidos por la sección de hormigón armado del arco. En el proyecto, el ingeniero Carlos Treglia consideró que para un correcto comportamiento de la estructura no deberían superarse tensiones de 20 kg/cm^2 en el hormigón (6).

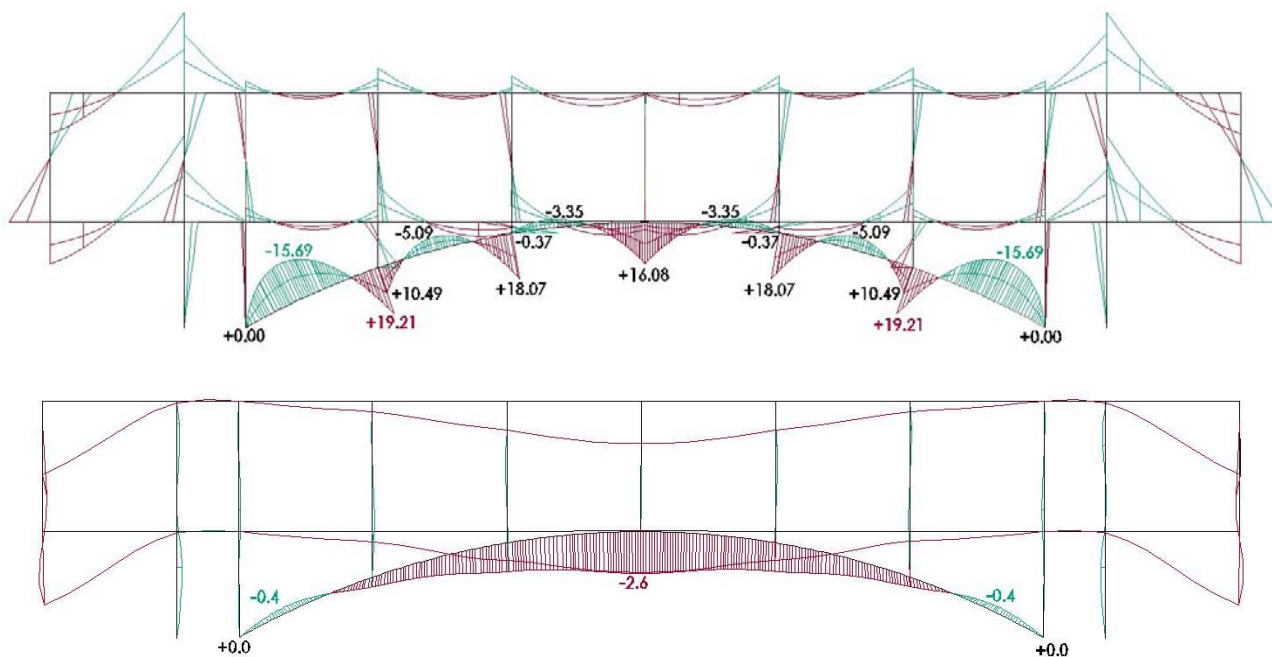
La hipótesis considerada para el análisis de la estructura, según se expresa en la memoria y planos fue realizada con una representación plana e individual de cada uno de los elementos estructurales: arco, pilas, tabiques, losa principal (bandeja), pilares y losa superior (tapa). Sus acciones, reacciones, esfuerzos internos y elementos de unión, fueron dimensionados con esta hipótesis, lo que era absolutamente usual y correcto para la época.

Esto difiere de alguna manera con las permanentes opiniones de su creador, cuando comentaba: *“el modo en que esta casa consigue el suelo libre es diferente del que intentó Le Corbusier. Es totalmente distinto y me parece más avanzado, porque es a través de una estructura tridimensional”*. Aunque después matizaba la opinión diciendo *“en esta obra, estructura, forma y calidad son una unidad. Está construida en hormigón martelinado, no hay ni un gramo de hormigón que no trabaje. Su cálculo tiene un sentido de unidad y si bien teóricamente, por falta de medios no ha sido posible resolverla con ese criterio, en la práctica sí se lo ha obtenido.”* (7)

Con el objeto de ponderar la influencia de considerar o no el comportamiento tridimensional de la estructura en los resultados obtenidos se ha desarrollado un modelo de cálculo en el que además del arco se han incluido de forma simplificada (8) las losas de los forjados así como las costillas verticales, para su posterior análisis elástico mediante el método matricial, empleando para ello el programa informático Autodesk Robot Structural Analysis v2012.

En las figuras 7, 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos:





Figuras 7, 8 y 9. Diagramas de esfuerzos y deformada para la combinación de acciones PP+CP+SC: esfuerzos axiales (kN/m), momentos flectores (kNm/m) y desplazamientos de los nudos (mm) (Rey, 2013).

Si comparamos estos resultados con los obtenidos en el caso del modelo considerando únicamente el arco, vemos como efectivamente la contribución de los forjados y costillas de hormigón armado provoca una reducción tanto de los desplazamientos obtenidos (en un 57%, de 6,1 mm a 2,6 mm) como de los momentos flectores máximos (en un 26%, de 26,16 kNm a 19,21 kNm). Se observa también como la contribución de la rigidez de la losa de forjado de la planta principal reduce los esfuerzos axiales en la zona próxima a la clave del arco (en un 37%, de -388,78 kN a -245,64 kN).

Es importante destacar no obstante los incrementos de momentos flectores que se manifiestan en determinadas partes de la estructura en el segundo modelo analizado respecto al inicial simplificado. El alto grado de hiperestaticidad de la estructura provoca redistribuciones de esfuerzos, siendo éstas positivas en algunas zonas y negativas en otras.

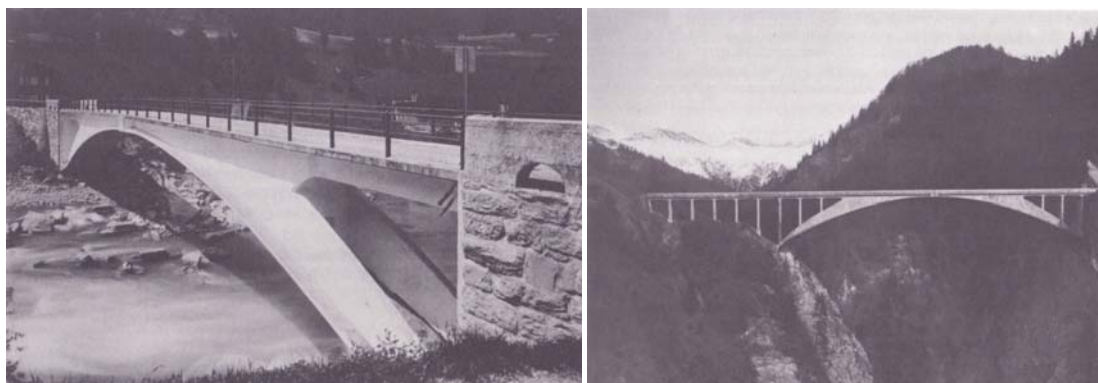
A la vista de los resultados obtenidos se considera que la hipótesis adoptada por el ingeniero Carlos Treglia, es decir el trabajo independiente de cada uno de los elementos que configuran la estructura de la vivienda es correcta teniendo en cuenta el estado del arte y los medios técnicos disponibles en la época. Esta simplificación se encuentra en cualquier caso del lado de la seguridad a la vista del mejor comportamiento de la estructura “tridimensional” y de la posibilidad de haber aplicado un cálculo plástico (9).

En cualquier caso, nótese que para que la contribución de los elementos de la superestructura fuese realmente significativa, debería de dotarse a estos (en especial a las costillas verticales) de una mayor rigidez, de modo que fuesen capaces de desarrollar momentos flectores mayores, al modo de una cercha tipo Vierendeel.

LA INFLUENCIA DE MAILLART

Es evidente que Amancio Williams conocía al ingeniero suizo Robert Maillart y sus importantes proyectos, especialmente sus puentes.

Hacia el año 1940 se editó el famoso libro “*Space, time and architecture*” de Sigfried Giedion, un tratado sobre arquitectura moderna en donde se hace una verdadera apología del nuevo concepto en el uso del hormigón por parte de Maillart, de su concepción plástica, y del rigor estructural de sus proyectos de puentes, en especial el de Tavanasa de 1906 y el más conocido: de Salginatobel, de 1930 (ver figuras 10 y 11). Sobre el primero de ellos, escribe Giedion: “...en su lugar, empleó para el arco una losa de hormigón armado curva y de poco canto, que con la horizontal de la plataforma y dos losas verticales reforzadas usadas como uniones para articularlas, constituiría un conjunto monolítico”. (10)



Figuras 10 y 11. Puentes de Tavanasa (1906) y Salginatobel (1930), obras del ingeniero suizo Robert Maillart (Billington, 1979).

Muchos análisis posteriores (Billington, 1979) atribuyen a estos puentes una manifiesta tridimensionalidad en su diseño estructural, es decir el trabajo del arco y la losa superior en forma simultánea como una estructura única, y es muy probable que Amancio Williams hubiese tomado debida nota de ello. Sin embargo, en muchos otros estudios también se advierte que este trabajo estructural conjunto, tridimensional, solo es posible si las pantallas verticales disponen de una rigidez a flexión adecuada y además están sólidamente unidos a la lámina y las losas, en una suerte de esquema Vierendeel, tal y como se ha comentado anteriormente.

Es evidente, en los casos de los mencionados puentes de Maillart, que la significativa rigidez del tablero (losa) colabora en el reparto de las cargas asimétricas y accidentales del tránsito sobre el arco y por tanto tiene un innegable funcionamiento tridimensional.

En cualquier caso, por el desarrollo de la técnica de cálculo de la época o por sus propios recursos, ni Amancio Williams ni Robert Maillart parecen haber considerado en sus análisis este carácter tridimensional de sus estructuras.

Existe, en cualquier caso, una diferencia de concepto notable desde el punto de vista mecánico entre las dos obras analizadas: Maillart introduce una rótula en la clave del arco, transformando la estructura en isostática. Así, los arcos triarticulados, como el puente de Salginatobel, presentan en buena medida, debido a su carácter isostático, un indudable mejor comportamiento frente a una deformación impuesta en uno de sus apoyos o a un incremento o decremento térmico que los arcos biapoyados, hiperestáticos, como el construido en el caso de la Casa sobre el Arroyo. La existencia de tres rótulas permite que los apoyos se puedan mover uno respecto al otro sin crear esfuerzos de flexión en el arco. Además la presencia de una de las rótulas en la clave permite que los esfuerzos de flexión derivados por ejemplo de la actuación de una carga puntual en uno de los lados del arco no se transmita al otro lado de dicha rótula.



Figura 12. Comportamiento de un arco triarticulado frente a un movimiento en uno de sus apoyos (Billington, 1984).

Tanto en el caso del Puente de Saginatobel como en la Casa sobre el Arroyo, como era habitual en la época, las rótulas se materializaban en la estructura de los arcos mediante una estricción de la sección de hormigón hasta la superficie mínima necesaria para resistir las tensiones de compresión.

El arco de la Casa sobre el Arroyo no se concibe como triarticulado muy posiblemente por la existencia de una losa de cubierta, que constructivamente impone un condicionante muy fuerte a la hora de tratar de materializar la posibilidad de giro de una mitad del edificio con respecto a la otra.

Esta diferencia de concepto cobrará una especial relevancia a la vista de los acontecimientos que se sucedieron durante la construcción de la obra y que a continuación se detalla.

EL PROCESO CONSTRUCTIVO

Una de las claves en la estructura de la Casa sobre el Arroyo era, sin duda alguna, el arco de hormigón. Era el bloque más complejo de ejecutar por su directriz curva, puesto que el hormigón quedaría a la vista en toda su superficie, pero fundamentalmente por la complicación añadida de tener que montar un encofrado

de madera sobre la superficie húmeda e irregular del arroyo. Eso lo sabía perfectamente Amancio Williams y así lo había advertido en el Pliego de especificaciones de hormigón armado del proyecto: *“Encofrado. Aprobados los planos respectivos se seguirán estos estrictamente. Se exigirá la más absoluta exactitud en cuanto al trazado y simetría de la curva. Antes de dar por terminado el encofrado se avisará al arquitecto con tres días de anticipación con el objeto de que pueda inspeccionar la obra y dar su visto bueno, sin el cual no se podrá iniciar el hormigonado. Se ejecutará el encofrado con la mayor prolijidad en forma de que las estructuras no presenten alabeos, resaltos u otros defectos”*. (11)

La primera semana de septiembre de 1944 se inició la construcción del encofrado del arco, en la forma tradicional de las losas, es decir una sucesión de banquetas de 3"x3" apoyadas sobre puntales de la misma sección. En este caso estas banquetas apoyaban sobre cuatro cimbras de madera curva que seguían la directriz del arco. En principio se colocaron cinco líneas de puntales coincidiendo con las líneas de apoyos de la estructura superior (costillas), que fueron rigidizadas horizontalmente por tablas colocadas en diagonal uniendo los nudos (ver figura 13).



Figura 13. Imagen de la cimbra (Archivo Williams).

Por último se ubicaron varias líneas de puntales adicionales y un puente horizontal en la coronación del arco para posibilitar el hormigonado desde una cota superior, como es práctica habitual (ver figuras 14 y 15).

El 21 de septiembre llegó Amancio Williams y pudo observar el arco pre-construido de madera haciéndose ya una idea muy precisa del tamaño del mismo y la escala del espacio resultante debajo. Veinte días más tarde volvió a la obra para dirigir el proceso de hormigonado, pudiendo presenciar el hormigón copiando las superficies del molde curvo y la materia dúctil que se iba convirtiendo lentamente en arquitectura.



Figuras 14 y 15. Imágenes construcción de las cimbras y encofrados (Archivo Williams).

DEFECTOS EN LA EJECUCIÓN DE LA CIMBRA Y ENCOFRADO

A los 28 días exactos se ordenó el desencofrado y se comenzó inmediatamente con el armado de los tabiques soportes de la losa principal.

Pero un grave problema fue detectado en el hormigón en cuanto desapareció el encofrado interior y se pudo ver el arco en todo su esplendor. El 17 de noviembre Amancio ordenó verificar los niveles del arco de hormigón con un instrumento óptico, y este control reveló que había un descenso de entre aproximadamente 3 y 10 cm de diferencia entre los niveles del proyecto y los niveles comprobados con el nivel de antejo, tal y como se plasmó posteriormente en el plano mostrado en la figura 16.

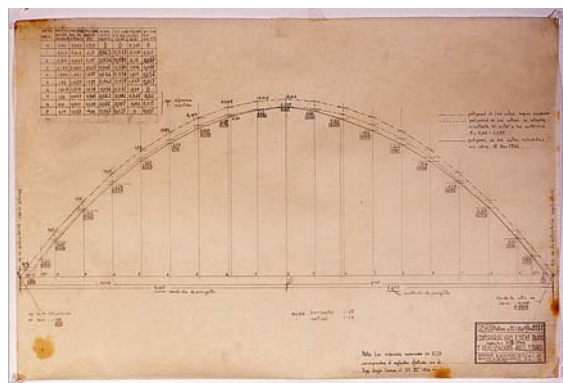


Figura 16. Plano nº 1131, indicando las desviaciones del encofrado detectadas en obra (Archivo Williams).

Esta alteración en la geometría del arco podía constituir una situación grave, pues si la directriz geométrica se alejaba de la parábola proyectada, los momentos flectores y por consiguiente las tensiones internas en las distintas secciones del arco podrían aumentar notablemente y el hormigón podría por tanto no ser capaz de soportar esos esfuerzos. Con una inmensa preocupación, Amancio Williams ordenó paralizar momentáneamente la obra y solicitar a la empresa constructora (Lemmi) una nueva verificación de los niveles con la mayor precisión posible.

Se realizaron dos nuevos levantamientos topográficos del arco, con esquemas comparativos de cada uno de ellos y con estos datos se solicitaron tres informes técnicos con carácter de urgencia: al Ingeniero Carlos Treglia, al Ing. Emilio Jáuregui, reconocido calculista de Buenos Aires y al Ing. Pedro Gélín.

Los dos primeros indicaron con claridad que las deformaciones encontradas, con los estados de cargas finales producirían tensiones en el hormigón que superaban las consideradas admisibles.

Las concisas y directas conclusiones que planteó Carlos A. Treglia en su informe se vinculaban con el análisis anterior acerca del diseño estructural de la casa: en principio suponía que el descenso del encofrado se produjo antes de ser hormigonado, lo que señalaba la responsabilidad casi exclusiva del constructor. Inmediatamente indicó que las tensiones que se producirán en el arco, con su geometría alterada, superan las admisibles.

Pero agregaba además un párrafo muy interesante: *“A pesar de que las tensiones obtenidas podrían a mi juicio aceptarse, no solo en consideración del mejoramiento de las hipótesis de cálculo por el trabajo de conjunto de toda la estructura que puede hacerse más eficiente con el armado de los tabiques sino también teniendo presentes los altos valores de las características mecánicas de los materiales empleados, sugiero a Ud. dada la magnitud a la que alcanzan dichas tensiones, la conveniencia de supeditar la decisión final a los resultados de una prueba de carga”.* (12)

Es decir que el propio calculista admitía la posibilidad de intentar un cambio de hipótesis estructural, incorporando esta vez sí y sorpresivamente, una interpretación tridimensional de la estructura.

La prueba de carga sugerida no se realizó, quizá porque ello hubiera significado conseguir instrumental de precisión que pudiese medir los descensos y las flexiones de la arco, a medida que la carga se incrementara. En todo caso, es casi inexplicable cómo se consiguió verificar con tanta exactitud los descensos, en valores de décimas de milímetros, con los instrumentos disponibles en la época.

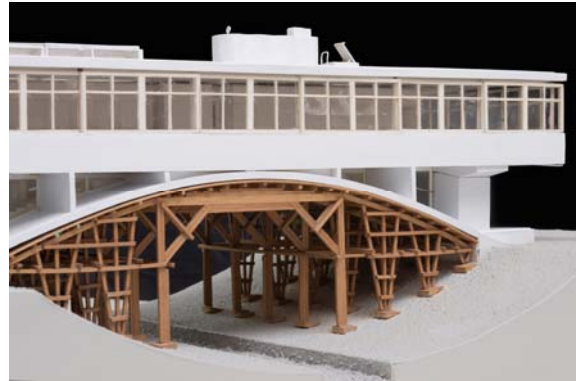
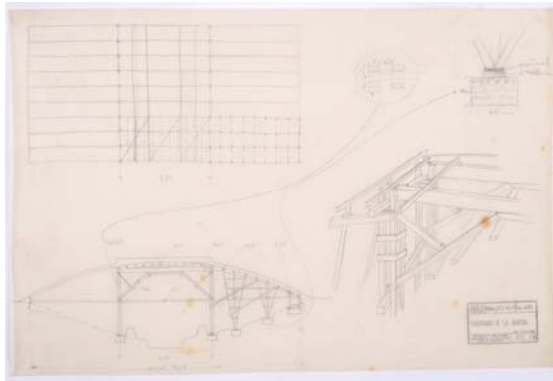
Era aparentemente fácil establecer las causas del problema encontrado, quizá pequeños errores en la construcción del encofrado, en sus apoyos en el terreno o la falta de ajuste en sus piezas, pero era muy difícil determinar, en ese momento, a quién le correspondía la responsabilidad por esa mala ejecución.

A menos de seis meses de comenzar la construcción de su primera obra, Amancio se encontraba con un problema relativamente grave por su diagnóstico pero con una solución mucho más complicada: paralizar la obra, demoler el arco y todos los trabajos posteriores ya realizados, rehacer un nuevo encofrado y volver a hormigonar. Ello suponía, además del mencionado retraso en las obras, un coste adicional muy importante. Incluso antes de resolver el conflicto, Amancio Williams había ordenado ya la demolición del arco construido (ver figura 17) y se había puesto a estudiar, conjuntamente con el Ing. Treglia un nuevo proyecto de encofrado, con mayores secciones de las banquetas y puntales, que garantizase no solamente su estabilidad sino su indeformabilidad.



Figura 17. Fotografía con fecha 24.04.1945 del proceso de demolición de la arco de hormigón (Archivo Williams).

Ello se consiguió con un pórtico de madera en el centro del vano del encofrado, con una sección considerablemente mayor y una rigidez muy superior a la anterior. Por otra parte se proyectó unificar los apoyos de los puntales sobre las márgenes del arroyo para controlar mejor la estabilidad de los mismos (ver figuras 18 y 19).



Figuras 18 y 19. Plano 1136 7512 en el que se indica la construcción de la nueva cimbra y encofrados. Fotografía de maqueta en la que se representan dichos elementos (Archivo Williams).

Una vez más, Amancio convocaba la obra de Robert Maillart: sus elegantes y esbeltos puentes en muchos casos atravesaban profundas hondonadas en los Alpes o la campiña suiza y por tanto la ejecución del encofrado y la cimbra constituía un proyecto en sí mismo. Para ello Maillart contaba con la colaboración del ingeniero R. Coray, quien diseñaba unas fantásticas estructuras de barras de madera que garantizaban la estabilidad de la cimbra durante la ejecución. Sirva como ejemplo el encofrado para el puente de Salginatobel, casi tan bello como el propio puente (ver figura 20).



Figura 20. Fotografía de la cimbra empleada para la construcción del puente de Salginatobel (R. Maillart).

CONCLUSIONES

La *Casa sobre el arroyo*, en Mar del Plata, Argentina, uno de los proyectos más importantes del arquitecto Amancio Williams, ha sido reconocida como una de las viviendas paradigmáticas de la modernidad y del siglo XX.

Su concepción arquitectónica y estructural presenta características intrínsecas de un marcado comportamiento tridimensional, pues el diseño del arco, pilares, costillas y losas son reunidos en un conjunto integral, monolítico de hormigón armado, que supera la geometría bidimensional de una suma de elementos para convertirse en un objeto unitario con un elevado grado de hiperestaticidad.

Sin embargo, y de acuerdo a los recursos y procedimientos de la época, el cálculo de la estructura fue realizado considerando cada elemento de manera individual, con sus solicitaciones y dimensionado.

El proyecto estructural reconoce claramente la influencia de los puentes de Maillart. Al respecto, la inclusión de una tercera articulación en la clave del arco hubiese mejorado el funcionamiento del mismo, pero no se considera una solución adecuada para una vivienda de estas características por los problemas constructivos que su inclusión hubiese generado.

Los descensos observados en la geometría del arco, producidos aparentemente por deficiencias constructivas durante la obra, fueron oportunamente detectados y acertadamente evaluados por parte de Williams y sus ingenieros colaboradores.

NOTAS

- (1) Amancio Williams, reportaje en periódico La Nación, Buenos Aires. Abril de 1957.
- (2) Adur, C. y Ocampo, E. Reportaje a Amancio Williams. Revista "Crisis" Nº39. Buenos Aires. 1976.
- (3) Podría entenderse en realidad como una losa curva.
- (4) A pesar de que la primera computadora fue construida por esas fechas (1942) no es hasta varias décadas después cuando su uso se generaliza en el ámbito del cálculo estructural (Rey, 2013).
- (5) Memoria del Proyecto Constructivo. Amancio Williams. Archivo Williams.
- (6) Esta fuerte limitación de la tensión máxima admisible en el hormigón se puede deber probablemente a la adopción de la simplificación consistente en despreciar las deformaciones originadas por los esfuerzos normales en el cálculo del arco, tal y como se indica en la memoria de cálculo del proyecto.
- (7) Carta GE 1.0027 de Amancio Williams a Oscar Niemeyer del 12 de julio de 1946. Archivo Williams.
- (8) La estructura presenta una configuración marcadamente tridimensional, difícil de simular a través de modelos planos. No obstante, en este caso se ha elaborado un modelo plano simplificado en aras de una mayor sencillez a la hora de presentar y comparar los resultados obtenidos.
- (9) Mediante la aplicación de la Teoría de la Plasticidad, popularizada varias décadas después de haberse proyectado este edificio, podría haberse concebido esta estructura con un mayor grado de aprovechamiento de los materiales.
- (10) Sigfried Giedion, en *"Space, time and architecture"*. Harvard Univ. Press. MSC. 1941
- (11) Pliego de condiciones para los trabajos de hormigón armado. AW-CSA-2-PLIEGO-COMP. Archivo Williams.
- (12) Informe del Ing. Carlos Treglia, del 31 de diciembre de 1944. Archivo Williams.

BIBLIOGRAFÍA

- Amancio Williams. 1990. Ediciones Claudio Williams. Buenos Aires.
- Billington, D. P.; Mark, R. 1984. "Structures and the urban environment. Structural studies". Department of Civil Engineering. New Jersey: Princeton University.
- Billington, D.P. 1979. "Robert Maillart's bridges. The art of engineering". New Jersey: Princeton University Press.
- Huerta, S. 2004. Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
- Merro Johnston, D. 2011. "El autor y el intérprete. Le Corbusier y Amancio Williams en la casa Curutchet". 1:100 ediciones. Buenos Aires.
- Rey Rey, J. 2013. "La barrera del análisis estructural y la representación gráfica en el desarrollo de los proyectos arquitectónicos: el caso de la Ópera de Sídney". Tesis doctoral dirigida por Ricardo Aroca en la E.T.S. de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.
- Silvetti, J. (Ed.). 1987. Amancio Williams. Harvard University Graduate School of Design. Rizzoli Ed. Nueva York.